Flor. Rdbr. 46 (2013), 95-116 2014

MORPHOLOGIE UND VARIATIONSBREITE DER BASTARD-BIRKE (BETULA ×AURATA BORKH., BETULACEAE) AUF URBAN-INDUSTRIELL GEPRÄGTEN STANDORTEN IM RUHRGEBIET

– Peter Gausmann & Götz Heinrich Loos –

Kurzfassung: Im Rahmen einer regionalen Studie zur Gehölzsukzession auf Industriebrachflächen des Ruhrgebietes konnte der Bastard *Betula ×aurata* (Syn.: *B. ×aschersoniana* HAYEK) mit hoher Frequenz in unterschiedlich alten Gehölzsukzessionsstadien wie Gebüsch- und Vorwaldbeständen nachgewiesen werden. Da es sich hierbei um Hybridschwärme zwischen *Betula pendula* ROTH und *B. pubescens* s. str. (= *B. pubescens* ssp. *pubescens* EHRH.) handelt, welche eine äußerst variable Morphologie aufweisen, werden die habituellen Merkmale dieser Birken-Hybriden vorgestellt, die evolutionären Entstehungswege aufgezeigt, die Bedeutung dieser Birken-Hybriden für die Gehölzsukzession auf Industriebrachen im Ruhrgebiet bewertet sowie ihre Einnischung in anthropogen beeinflussten Gehölzgesellschaften diskutiert.

Schlüsselwörter: *Betulaceae*, Hybridisierung, Evolution, Industriebrachen, Sukzession, Gehölzflora, Stadtflora, Stadtökologie, Vorwälder

Abstract: A survey concerning spontaneous woody vegetation on brownfield sites in the Ruhr Area revealed a surprising frequency of the hybrid birch in urban-industrial pre-forest stands. Obviously the hybrids between *Betula pendula* and *B. pubescens* s. str. show a very different appearance, the identification and determination of these individuals and the separation to their parents seem to be often difficult. The morphological variations of these hybrids are presented and the role of birch hybrids for the succession on brownfield sites in the Ruhr Area by woody plants will be discussed.

Keywords: hybridization, evolution, brownfields, succession, urban flora, urban ecology, pre-forest

1. Einleitung

Seit dem Niedergang der Montanindustrie im Ruhrgebiet seit dem Ende der 1950er Jahre und dem damit einhergehenden Brachfallen großer Areale haben sich diese, sofern sie ungestört blieben, auf natürlichem Wege durch Sukzession allmählich mit Pioniergehölzen bewaldet. Diese jungen, oftmals nur wenige Jahrzehnte alten

Vorwälder, die auf Grund ihrer industriell geprägten Standorte, auf denen sie stocken, auch als Industriewälder bezeichnet werden (GAUSMANN & al. 2007), sind meist das Ergebnis einer spontanen, ungestörten Vegetationsentwicklung. Es dominieren in der Regel anemochore, anspruchslose einheimische Pionierbäume wie *Betula pendula*, *Salix caprea* und *Populus tremula* in den Beständen, wobei lokal auch nichteinheimische Gehölzsippen wie *Populus alba*, *Ailanthus altissima* und weitere Sippen in der Lage sind, Dominanzbestände aufzubauen oder sich als Begleiter zu den einheimischen Gehölzen gesellen. Durch den hohen Siedlungseinfluss im Ballungsraum Ruhrgebiet, der auf die Industriebrachen einwirkt, können zu den dominanten Pionierbaumarten auch noch eine Reihe weiterer Gehölzsippen, sowohl Bäume als auch Sträucher, hinzutreten, darunter eine Vielzahl verwilderter Zier- und Nutzgehölze. Dadurch weisen solche urban-industriell geprägten Vorwälder nicht selten eine Gehölzdiversität auf, die weit über derjenigen von natürlichen und naturnahen, siedlungsfernen Waldbeständen liegt (GAUSMANN 2006, KEIL & al. 2007). Der Anteil an Phanerophyten ist in den Industriewäldern im Vergleich zu natürlichen und naturnahen Waldtypen dadurch merklich erhöht. Da über diesen jungen Vegetationstyp der urban-industriell geprägten Vorwälder im Ruhrgebiet der Kenntnisstand bezüglich der Floristik, der Rolle von bestimmten Pionierbaumarten und der vegetationskundlichen Gliederung noch sehr lückenhaft und defizitär ist, wurde aus diesem Anlass eine eingehende floristisch-vegetationskundliche Untersuchung dieser Bestände angeregt, welche als ein Teilergebnis die bemerkenswerte Häufigkeit von Birken-Hybriden herausstellen konnte, die am Aufbau dieser Wälder beteiligt sein können (GAUSMANN 2013).

Hybriden bzw. Bastarde können eine gewisse Selbstständigkeit zeigen, d. h. sie können auch ohne ihre Elternarten in einem bestimmten Gebiet auftreten. Dieser Umstand trifft auch im hier behandelten Fall der Bastard-Birke zu, da die eine Elternart *Betula pendula* (Hänge-Birke) im Ruhrgebiet zwar omnipräsent ist, die zweite Elternart *B. pubescens* (Moor-Birke i. e. S.) jedoch große Verbreitungslücken in diesem Raum zeigt (vgl. HAEUPLER & al. 2003).

Obwohl hybridogene Sippen ohne Zweifel regelmäßig in der Flora eines Gebietes auftreten können, wurde ihnen häufig bei Kartierungen in den meisten Regionen nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt, auch aus dem Grunde, weil es sich hierbei oft um nur schwer unterscheidbare Sippen handelt (HAEUPLER & al. 2003). Dadurch ist ihr Erfassungsstand in den meisten Fällen nur lückenhaft, was im Rahmen der Floristischen Kartierung Deutschlands im Allgemeinen und Nordrhein-Westfalens im Speziellen als äußerst unerfreulich er-

scheinen mag. Der vorliegende Aufsatz soll zum einen dazu beitragen, dass dieser in bestimmten Regionen durchaus häufig auftretenden Birken-Hybride mehr Aufmerksamkeit zuteil wird und sie dementsprechend auch in die regionalen und landesweiten Florenlisten Eingang findet, zum anderen soll der Aufsatz dazu dienen, die Hybriden zwischen *Betula pendula* und *B. pubescens* im Gelände sicher ansprechen sowie gegenüber anderen Sippen der Gattung *Betula* besser abgrenzen zu können und dadurch die floristische Kartierung zu präzisieren, um etwaige kartierbedingte Verbreitungslücken von *Betula ×aurata* zu schließen.

2. Untersuchungsgebiet und Charakterisierung der Standorte

Industriebrachflächen sind durch äußerst heterogene Standortfaktoren gekennzeichnet, die stark von der ehemaligen industriellen Nutzung der brach gefallenen Fläche abhängen (DETTMAR 1992). Im Ruhrgebiet handelt es sich bei den Brachflächen fast ausschließlich um ehemalige Flächen der Kohle- und Stahlindustrie sowie der Bahninfrastruktur. Auf Grund der verschiedenen vormaligen Nutzungstypen sind die Industriebrachflächen vor allem durch verschiedenste Substrattypen wie Bergematerial, Kokereirückstände, Hochofenschlacke, Eisenhüttenbims u. a. charakterisiert. Häufig findet sich auf einer Brachfläche nicht nur ein vorherrschender Substrattyp, sondern ein Mix aus verschiedensten Produktionsrückständen und naturnahen bis künstlichen Aufschüttungssubstraten wie Bahnschotter aus Basalt, Kalkstein, Grauwacken oder auch aus technogenen Substraten, die unterschiedlich stark verdichtet sein können (DETTMAR 1992), dabei nicht selten kontaminiert sind und dann Altlastensituationen darstellen (MANSFELDT & al. 1998).

Dies bedeutet, dass sich auf den Industriebrachen häufig ein kleinräumiges Mosaik aus unterschiedlichen abiotischen Standortfaktoren findet, das nicht nur einen räumlichen Gradienten im Bezug auf Bodenfeuchte, Nährstoffgehalt und Bodentemperatur verursacht, sondern die verschiedenen Substrate zeigen nicht selten auch eine Veränderung ihres Chemismus im zeitlichen Verlauf, vor allem bei der Bodenbildung. Diese räumlich-zeitlichen Gradienten bewirken eine hohe standörtliche Dynamik auf den Industriebrachflächen. Initiale Rohböden, die in ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften häufig den natürlichen Bodentypen Regosol, Ranker, Rendzina und Pararendzina ähneln können, kennzeichnen die petrographischen Eigenschaften der Industriebrachen und wirken sich dadurch in entscheidendem Maße auf den pflanzlichen Bewuchs aus. Insgesamt sind diese Standorte jedoch als Extremstandorte zu betrachten, da sie innerhalb kürzester Zeit rasch austrocknen können, der Grundwasserflurabstand durch die Aufschüttungen meist sehr tief liegt und sich

diese Böden auch aufgrund ihrer dunklen Färbung schnell sehr stark aufwärmen können.

3. Methodik

Im Rahmen einer regionalen Studie (GAUSMANN 2013) über spontan entstandene, anthropogen geprägte Vorwaldbestände auf Industriebrachflächen im Ruhrgebiet wurden 48 Brachflächen und ihre Waldbestände eingehend vegetationskundlich untersucht, wobei sich die räumliche Verbreitung der untersuchten Brachflächen vom westlichen bis ins östliche Ruhrgebiet erstreckt (s. Abb.1). Es wurden insgesamt 316 Vegetationsaufnahmen in spontan durch Sukzession entstandenen Vorwaldbeständen auf ehemaligen Industriestandorten nach BRAUN-BLANQUET (1964) angefertigt. Das Alter der untersuchten urban-industriellen Vorwälder schwankte dabei zwischen 30 und 80 Jahren. Die Nomenklatur der Pflanzennamen einheimischer Taxa richtet sich nach WISSKIRCHEN & HAEUPLER (1998), die der verwilderten Zier- und Nutzgehölze nach ZANDER (2000) sowie KEIL & LOOS (2002).

4. Ergebnisse

Durch floristisch-soziologische Untersuchungen in Form von 316 Vegetationsaufnahmen konnte in urban-industriellen Vorwäldern mit insgesamt 60 verschiedenen Baumsippen (Makrophanerophyten i. e. S.) eine sehr hohe Diversität an Bäumen nachgewiesen werden (GAUSMANN 2013). Alle diese Baumsippen haben sich spontan angesiedelt, sei es durch eigenständige Ausbreitung über Samen und Früchte, oder auch über spontane und subspontane Verwilderungen von kultivierten Exemplaren im näheren Umfeld der Brachflächen. Häufigster − und gleichzeitig auch dominantester − Baum war *Betula pendula*, gefolgt von *Quercus robur* (Stiel-Eiche) und *Salix caprea* (Sal-Weide) (s. Tab. 1 sowie Abb. 2). Von den 60 nachgewiesenen Taxa war *Betula ×aurata* unter den zehn häufigsten Bäumen der untersuchten Industriewälder im Ruhrgebiet vertreten (s. Tab. 1) und kam somit in ca. 55 %, also mehr als der Hälfte der untersuchten Bestände, vor. Auf insgesamt 37 der untersuchten 48 Industriebrachflächen konnte *Betula ×aurata* in urban-industriellen Vorwäldern als Gehölz nachgewiesen werden, was einer Frequenz von 78 % anteilig an den Untersuchungsflächen entspricht.

Bereits Mitte der 1980er Jahre fiel diese Birkensippe auf Industriebrachen und an anderen vorwiegend urban-industriellen Standorten im Ruhrgebiet auf, wo sie oft häufiger zu sehen war als in naturnahen Gebieten, selbst in Gesellschaft der Elternarten. So konnte sie auch schon zu Anfang der Studie in den untersuchten Vorwaldbeständen festgestellt werden. Da jedoch der Fokus der frühen floristischen Erforschung der Industriebrachen überwiegend auf krautigen Sippen – insbesondere seltenen Neophyten und Rote-Liste-Sippen lag,

wurde ihnen trotz ihrer steten Präsenz bei Kartierungen zunächst nur wenig Rechnung getragen. Allen Vorkommen gemeinsam war ein starkes Abweichen vom Erscheinungsbild von *Betula pendula* und ein eher an *B. pubescens* erinnernder Habitus. Bei näherer Betrachtung dieser Birken wurde ihr äußerst variables und heterogenes Erscheinungsbild bemerkt, sowohl was die Blattform betraf, die von oval bis eiförmig oder rhombisch bis trapezförmig variierte (s. Abb. 3 bis 5), als auch die Farbe der Rinde, die von weiß über hellbraun, bernsteinfarben, rötlich bis dunkelbraun und fast schwarz reichte (s. Abb. 8 bis 10). Das Spektrum der Birken-Hybriden setzt sich auf den Industriebrachen jedoch nicht nur aus Hybridisierungsprodukten zwischen "reinen" Individuen von *B. pendula* und *B. pubescens* zusammen. Die Individuen von *B. ×aurata* sind nach den Beobachtungen der Verfasser nicht immer, jedoch partiell fertil, so dass es auch zu Introgressionen, vor allem mit *Betula pendula*, kommt. So sind Hybridschwärme und Rückkreuzungsschwärme von Birken keine seltenen evolutionären Phänomene, die auf Brachflächen im Ruhrgebiet beobachtet werden konnten. Möglicherweise sind auch weitere nichteinheimische Birkenarten in den Prozess einbezogen, zumindest bezüglich *B. papyrifera* lassen einzelne Individuen dies vermuten.

Ihren Häufigkeitsschwerpunkt in diesen Vorwäldern besaßen diese Birken-Hybriden in der Strauchschicht, nur äußerst wenige Exemplare fanden sich wie ihre Elternsippe *B. pendula* auch in der Baumschicht. Da sich Birkenbestände nur sehr schlecht selbst verjüngen, was mit dem Lichtbedürfnis der Birke als Pioniergehölz in Zusammenhang steht, konnten auch kaum Exemplare der Bastard-Birke in der Krautschicht beobachtet werden, ebenso wenig wie Jungwuchs von *B. pendula*. Daraus resultiert die Annahme, dass die beobachteten Bastard-Birken erst einige Jahrzehnte, nachdem sich *B. pendula* angesiedelt hatte, entstanden sind und sich danach ebenfalls als Pioniergehölz in den Vorwäldern einstellten.

5. Morphologische Merkmale von *Betula ×aurata*

Der Umstand, dass *Betula pendula* und *B. pubescens* leicht hybridisieren und es auch zu Rückkreuzungen mit den Eltern kommt, führt dazu, dass die Unterscheidung der einzelnen Sippen vor allem im geographischen Überschneidungsbereich beider Eltern immens erschwert werden kann. In manchen Gebieten scheinen *B. pendula* und *B. pubescens* sogar durch kontinuierliche Übergänge fließend miteinander verbunden zu sein (NATHO 1959). Auch die Tatsache, dass *B. carpatica* (oft als *B. pubescens* ssp. *carpatica* geführt, was allerdings wenig sinnvoll ist, da es sich bei *B. pubescens* um eine Elternsippe des Komplexes handelt, während die andere Stammart, *B. pendula*, außerhalb

des B. *pubescens*-Komplexes steht) als Hybridisierungsprodukt zwischen *B. pendula* und *B. pubescens* hervorgegangen ist, machen eine Abgrenzung und Differenzierung von *B. ×aurata* zu *B. carpatica* nicht leicht (BOMBLE 2011). Eine überblickende Zusammenfassung der Merkmale von *B. ×aurata* und ihrer Eltern gibt Tab. 2, die auch gleichzeitig eine morphologische Abgrenzung zur habituell ähnlichen *B. carpatica* liefert. *B. carpatica* ist ihrerseits als Aggregat (agg.) zu verstehen, da die einzelnen Typen aus verschiedenen Gebieten (z. B. Eifel, Süderbergland, Münsterland, Rhön, Riesengebirge, Hohe Tatra usw.) untereinander nicht ganz einheitlich sind, also wahrscheinlich polytop entstanden und jeweils für sich regional bzw. lokal unter ähnlichen Standortsverhältnissen etabliert und eingenischt haben (vgl. auch NATHO 1993, GAUSMANN & al. 2007).
Diese Unterscheidungsprobleme treffen ohne weiteres auch auf die von den Verfassern beobachteten Individuen von *Betula ×aurata* im Ruhrgebiet zu. Die Variationsbreite der Blätter von *Betula ×aurata* auf urban-industriellen Brachflächen im Ruhrgebiet umfasst alle intermediären Übergangsformen zwischen ihren Eltern (s. Abb. 6). Die Blattform ist sehr variabel und reicht von trapezförmig (s. Abb. 3) oder rhombisch bis hin zu oval oder eiförmig (s. Abb. 4 u. 5) oder auch rundlich bis herzförmig und ist eher im Erscheinungsbild der Blattform von *B. pubescens* s. str. ähnlicher. Aber auch innerhalb ein und desselben Individuums kann die Blattform sehr heterogen sein (s. Abb. 5).
Auffälligstes Merkmal von *Betula ×aurata* ist jedoch ihre Stammfarbe, die nur selten weiß ist wie bei der Eltenart *B. pendula*, sondern meistens zumindest in jungem bis mittlerem Altersstadium eine ausgeprägte und intensive Färbung zeigt, die von bernsteinfarben, hellbraun über dunkelbraun bis hin zu einer fast schwarzen Farbe der Borke reicht (s. Abb. 8 bis 10). Birken-Individuen mit einer solchen Stammfarbe lassen sich im Gelände, vor allem in den meist von *B. pendula* dominierten Vorwäldern der Industriebrachstandorte, zwischen reinen Beständen von *B. pendula* optisch leicht erkennen und lassen die nicht unbegründete Vermutung zu, dass es sich bei diesen Individuen um die hier beschriebene Hybride handeln könnte.

6. Verbreitung von *Betula ×aurata* im Untersuchungsgebiet, in Deutschland und in Europa

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, ist *Betula ×aurata* im Ruhrgebiet kohärent auf urban-industriellen Brachflächen verbreitet. Ihre Verbreitung erstreckt sich vom westlichen über das mittlere bis ins östliche Ruhrgebiet (s. Abb. 12). Die Hybride *B. ×aurata* ist jedoch auch außerhalb des Ruhrgebietes in Nordrhein-Westfalen und Gesamtdeutschland verbreitet. Zweifelsohne kommt sie auch auf Brachflächen außerhalb des Ruhr-

gebietes vor. So konnte *B.* ×*aurata* im Rahmen einer gemeinsamen Exkursion des Erstautoren mit Prof. Dr. Klaus Adolphi (Roßbach/Wied) und Prof. Dr. Henning Haeupler (Bochum) am 25.08.2013 auch auf einer Bahnbrache in Neuwied-Engers (Rheinland-Pfalz) nachgewiesen werden.

In Deutschland kommt *Betula* ×*aurata* flächendeckend vor, besonders häufig jedoch dort, wo sich die Areale der Elternsippen überschneiden. Hinsichtlich der Verbreitung ist keine Präferenz eines bestimmten Naturraumes oder eine Konzentration auf eine bestimmte Region erkennbar. Nachweise von *Betula* ×*aurata* existieren aus allen Bundesländern. Auch in anderen Teilen Europas kommt *Betula* ×*aurata* vor, mitunter ist sie sogar regional oder lokal häufig. Nachweise aus Westeuropa stammen z. B. von den Britischen Inseln sowie Irland (BOTANICAL SOCIETY OF BRITAIN AND IRELAND 2014), Nachweise aus Osteuropa existieren aus Tschechien, Polen und der Ukraine (TUTIN & al. 1993).

7. Diskussion

In Nordrhein-Westfalen wurden bislang gewöhnlich drei Birkentaxa unterschieden, zum einen *Betula pendula* (Hänge-Birke) und zum anderen *Betula pubescens* (Moor-Birke) und *B. carpatica* (agg.) (Karpaten-Birke). Oft wird *B.* ×*aurata* ignoriert und damit – bewusst oder unbeabsichtigt – fälschlicherweise *B. pubescens* und/oder *B. carpatica* zugeordnet (BOMBLE 2011). BOMBLE betont weiter, dass im Aachener Raum diese Vorgehensweise zu einer Verschleierung einer an sich klaren Situation führt. So konnte BOMBLE nachweisen, dass im Aachener Raum *B.* ×*aurata* gebietsweise recht häufig auftrat, fälschlicherweise für *B. pubescens* gehalten wurde und zum vermeintlichen Eindruck führte, dass *B. pubescens* im Aachener Raum eine häufige Sippe sei. Die Diskussion hinsichtlich der hybridogenen Birken konzentriert und fokussiert sich demnach im Wesentlichen auf genetisch-evolutionsbiologische, morphologische und ökologisch-chorologische Aspekte, woraus sich relevante Fragestellungen insbesondere für die Floristische Kartierung und die Verbreitung der in Nordrhein-Westfalen und in Deutschland vorkommenden Birkensippen ergeben.

7.1 Genetik, Evolutionsbiologie und Morphologie

Die morphologische Variationsbreite in der Gattung *Betula* ist ebenso hinlänglich bekannt wie die Häufigkeit von Hybridisierungen, was in taxonomischen Problemen innerhalb dieser Gattung resultiert (THÓRSSON & al. 2007), welche noch im Einzelnen zu klären sind. Nicht nur in Mitteleuropa, sondern auch in Nordeuropa werfen die dort verbreiteten Birken sowohl taxonomische als auch chorologische Probleme und Fragestellungen auf. Als Beispiel sei hier *B. pubescens* ssp.

czerepanovii (Fjell-Birke) genannt, deren Bedeutung für die skandinavische Höhenzonierung und Waldgrenze noch nicht befriedigend geklärt ist. Auch in den Alpen werfen die Birken aus dem *Betula pubescens*-Komplex einige Fragen hinsichtlich ihrer Verbreitung auf (FRANZ 2000).

Die in Nordrhein-Westfalen vorkommenden überwiegend baumförmigen Birkensippen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Genomgröße und Cytologie (s. Tab. 2), wobei *B. pendula* diploid (2n = 28) und *B. pubescens* tetraploid (2n = 56) sind. Abweichende Genomgrößen werden als das Ergebnis von Hybridisierungsprozessen gewertet (BROWN & AL-DAWOODY 1979). Die Existenz von Hybriden zwischen *B. pendula* und *B. pubescens* ist in Mitteleuropa seit langer Zeit bekannt. Im gesamten Überschneidungsbereich der Areale von *B. pendula* und *B. pubescens* sind intermediär erscheinende Birken demnach kein seltenes Phänomen und können als Hybriden angesehen werden (SCHMIDT 2002).

Wegen der großen Variationsbreite innerhalb und zwischen den einzelnen Birkensippen stellen diese also insgesamt eine taxonomisch schwierige Gruppe dar. Insbesondere die sehr variable Moor-Birke (*Betula pubescens*) macht eine morphologische Abgrenzung sowohl gegenüber der Karpaten-Birke (*B. carpatica*) als auch *Betula ×aurata*, der Hybride zwischen ihr und der Hänge-Birke (*Betula pendula*), schwierig. Auch kommt es zu Introgressionen zwischen den Bastarden und ihren Elternarten (SCHOLZ 1972), so dass sich lokal formenreiche Birken-Hybridschwärme ausbilden können. Auch LOOS in HAEUPLER & al. (2003) berichtet von Rückkreuzungen zwischen *Betula ×aurata* mit den Elternsippen. Diametral dazu steht die Anmerkung von AAS (2000), dass der Genfluss zwischen *B. pendula* und *B. pubescens* auf Grund von Kreuzungsbarrieren zwischen den Taxa stark eingeschränkt ist und auch die Hybride durch die überwiegend verbreitete Triploidie steril ist, so dass es kaum zu Introgressionen kommt. AAS verweist in diesem Zusammenhang auf die Schwierigkeit, beide Birken experimentell zu kreuzen. Erfolge kommen fast ausschließlich mit *B. pubescens* s. str. als weiblichem Elternteil zustande. Bestätigt werden diese Beobachtungen durch die Untersuchungen von HIBSCH-JETTER (1994) aus den Alpen zur Taxonomie und Ploidie der dort verbreiteten Birkensippen. Diese hatten zum Ergebnis, dass die dortigen Birken anhand ihrer Ploidie eindeutig entweder *B. pendula* oder *B. pubescens* zugeordnet werden konnten, jedoch morphologisch intermediäre Formen waren, Chromosomenzählungen zufolge jedoch nicht hybridogenen Ursprungs sind. Es kann also bilanziert werden, dass es auch in Mitteleuropa in der Gattung *Betula* L. und speziell über die weit verbreiteten Hybriden zwischen *B. pendula* und *B. pubescens* noch reich-

lich Klärungsbedarf hinsichtlich taxonomischer, morphologischer und ökologischer Fragestellungen gibt. Die triploiden Hybriden zwischen *B. pendula* und *B. pubescens* s. str. werden in der Literatur häufig als steril beschrieben (z. B. AAS 2000). Die Beobachtungen der Verfasser an Individuen von *Betula ×aurata* aus Nordrhein-Westfalen und speziell im Ruhrgebiet bestätigen diese Beobachtungen. Vor allem im Überschneidungsbereich der Areale/Vorkommen der Elternsippen sind sterile Hybriden keine seltene Erscheinung.

Unter evolutionsbiologischen Gesichtspunkten können Hybridisierungen zwischen zwei oder mehreren Eltern nicht nur zu Phänomenen wie der durch divergente Evolutionslinien bedingten adaptiven Radiation führen, wodurch es vor allem auf Inseln zur Entstehung neuer Arten (Neoendemiten) gekommen ist, sondern auch zu parallelen Evolutionslinien. Hierfür ist *Betula ×aurata* ein Beispiel, da sich die Sippe durch spontane Kreuzungsvorgänge zwischen den Eltern *B. pendula* und *B. pubescens* gebildet hat und somit zwei ehemals divergente Evolutionslinien wieder zusammengeführt werden. Ebenfalls hervorgegangen aus einem Kreuzungsprodukt dieser beiden Eltern und sich daraus stabilisierten Hybridschwärmen ist *B. carpatica*. Nach NATHO (1959) ist die Karpaten-Birke durch Einkreuzungen von Merkmalen von *B. pendula* in Populationen von *B. pubescens* entstanden. Diese neogenen Hybriden sind aus evolutionsbiologischer Sicht von Interesse, da aus Hybriden oftmals neue, eigenständige Sippen entstehen können, wenn diese beginnen, merkmalsstabil zu werden und ihre Merkmale konstant weitervererben, so dass ihre Nachkommen die gleichen morphologischen Merkmale aufweisen (STEBBINS 1969). *B. ×aurata* und *Betula carpatica* können folglich als sich phylogenetisch sehr nahe stehend betrachtet werden.

Zum Kreuzungsprodukt zwischen *Betula pendula* und *B. pubescens* in Nordrhein-Westfalen gibt es unterschiedliche Angaben bezüglich der morphologischen Variationsbreite, die möglicherweise auf regional bedingte, unterschiedliche Standortbedingungen zurückzuführen sind. So berichtet BOMBLE (2011: S. 105 ff.): "*Betula ×aurata* ist auch im Aachener Raum recht häufig. Die Populationen von *Betula ×aurata* wirken recht einheitlich, es gibt jedoch auch selten abweichende Typen." Gänzlich anders gestaltet sich die morphologische Variationsbreite der Bastard-Birke auf Industriebrachflächen im Ruhrgebiet (s. Abb. 3 bis 5 sowie 7 bis 11). Auch NATHO (1959, 1993) beschreibt ausführlich und anschaulich, dass die Blattform der Hybriden zwischen *B. pendula* und *B. pubescens* durch fließende Übergänge miteinander verbunden sein kann (s. Abb. 6), was ebenfalls bei Individuen von *B.×aurata* auf Industriebrachen im Ruhrgebiet beobachtet werden konnte. Die Produkte dieser Hybridisierungen zwischen *B.*

pendula und *B. pubescens* sowie daraus hervorgegangene, stabilisierte Populationen können sich morphologisch sehr ähnlich sein, so auch *B. ×aurata* und *B. carpatica* (vgl. Abb. 9 bis 11 sowie Tab. 2).

7.2 Ökologie und Chorologie

Betula ×aurata und *Betula carpatica* sind sich jedoch nicht nur morphologisch, sondern des Weiteren auch hinsichtlich ihres ökologischen Verhaltens sehr ähnlich, da beide Birkentaxa Extremstandorte bzw. Grenzstandorte des Waldes besiedeln. *Betula carpatica* besiedelt die extremen Grenzstandorte sowohl im trockenen als auch im feuchten bis nassen Standortsbereich. So baut sie eigene Waldbestände in Form des Karpaten-Birken-Bruchwaldes (*Betuletum carpaticae* LOHMEYER et BOHN 1972) auf anmoorigen Standorten im Süderbergland auf (GAUSMANN & al. 2010), bildet aber auch vergesellschaftet mit *Picea abies* Waldbestände auf trockenen Blockschutthalden des Ostharzes aus (*Betula carpatica-Picea abies*-Gesellschaft) (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2014). *Betula carpatica* kommt in Deutschland vor allem in den Mittelgebirgen wie Süderbergland, Eifel, Harz, Rhön, Thüringer Wald, Erzgebirge und Bayrischem Wald und im Hochgebirge der Deutschen Alpen vor, ist aber auch im Nordwestdeutschen Tiefland weit verbreitet (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2014). Nach NATHO (1959) konnte sich *B. carpatica* in bestimmten Gegenden auf Grund besonderer Umweltfaktoren und Standorte, die von anderen Bäumen nicht besiedelt werden konnten, dort langfristig halten. Aus diesem Grunde ist *B. ×aurata* nicht nur von taxonomischem, systematischem oder evolutionsbiologischem Interesse, sondern auch aus forstbotanischer Sicht, da es sich hierbei – vor allem im Ruhrgebiet – um Individuen einer Birkensippe handelt, die in der Lage sind, auch extreme Standorte zu besiedeln. Von Relevanz ist dies z. B. bei Fragen der Restaurationsökologie in Bergbaufolgelandschaften, etwa bei der Rekultivierung von Haldenstandorten. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, kommen Hybriden zwischen *Betula pendula* und *B. pubescens* auf urban-industriellen Brachflächen im Ruhrgebiet häufig vor und sind keine Seltenheit (vgl. Tab. 1). Dies ist jedoch gewissermaßen ein chorologisches Paradoxon, da einer der Eltern, nämlich *B. pubescens*, auf Grund der durch die Industrialisierung im Ruhrgebiet bedingten Verluste von naturnahen Standorten bis auf wenige Ausnahmen (s. FUCHS (2013), GAUSMANN & JAGEL 2007) nur noch sehr wenige Vorkommen im Ruhrgebiet besitzt (vgl. HAEUPLER & al. 2003). Während *B. pendula* und *B. pubescens* an naturnahen Standorten zumindest räumlich nahe beieinander vorkommen, fehlt *B. pubescens* im Bereich des Auftretens der hybridogenen und introgressiven Bastard-Birke auf den industriell geprägten Sonderstandorten im Ruhr-

gebiet zumindest heute meist im weiten Umkreis. Birken-Hybriden zwischen *B. pendula* und *B. pubescens* treten durchaus auch unter naturnäheren Bedingungen auf, und zwar meist dann, wenn die Elternarten Stressfaktoren (z. B. extreme Trockenheit, Bodenbewegung, Staunässe) ausgesetzt sind (s. FUCHS (2013). Folgenreichstes Beispiel sind die Karpaten-Birken und ihre oben angedeutete regionale bzw. lokale Genese.

8. Fazit

Betula pendula und *B. pubescens* neigen immer dann zur Bildung adaptierter Ökotypen, von Hybridschwärmen und neuen Sippen, wenn es gilt, konkurrenzfreie Extremstandorte (Blockschutthalden, Moorstandorte, Industriebrachen) zu besiedeln. Diese sind mitunter selbst für die eher anspruchslosen Eltern sowie andere Baumarten nur schwer besiedelbar, ebenso ist der Konkurrenzdruck durch andere, konkurrenzkräftigere Gehölzsippen zum Zeitpunkt der pflanzlichen Besiedlung, meistens am Anfang der Sukzession, niedrig.

Kreuzungsprodukte zwischen *B. pendula* und *B. pubescens* vermehren sich teilweise merkmalsstabil weiter und haben Hybridschwärme zur Folge, die aus evolutionsbiologischer und geobotanischer Sicht von Interesse sind, da aus ihnen neue, stabilisierte Taxa entstehen können (STEBBINS 1969, GAUSMANN & al. 2007). Kurioserweise konnte die an der Hybridisierung beteiligte *B. pubescens* in den untersuchten Industriewäldern nicht nachgewiesen werden. Sie kommt aber im Ruhrgebiet – wenn auch durch die Zerstörung von geeigneten Lebensräumen nur äußerst selten – vor (s. FUCHS 2013, HAEUPLER & al. 2003; GAUSMANN & JAGEL 2007). Die Häufigkeit von *B.* ×*aurata* in den spontanen Industriewäldern lässt vermuten, dass ein Einnischungsprozess dieser Birken-Hybriden, die möglicherweise besser an die extremen Standortfaktoren der Industriebrachen angepasst sind als ihre Elternarten, begonnen hat. Es erfolgt also rezent auf den urban-industriellen Brachflächen des Ruhgebietes eine Ausbreitung von Birken, welche durch die Bildung adaptiver Hybriden entstehen, die als Anpassung an die speziellen Standortbedingungen, welche auf den Industriebrachflächen herrschen, anzusehen sind.

Danksagung

Für Hinweise zu Vorkommen der Bastard-Birke auf Industriebrachen im Ruhrgebiet danken wir den Herren Dietrich Büscher (Dortmund) und Dr. Peter Keil (Mülheim an der Ruhr), für die Exkursionsleitung zur Gehölzflora einer Bahnbrache in Rheinland-Pfalz danken wir Prof. Dr. Klaus Adolphi (Roßbach/Wied).

Literatur

AAS, G. 2000: Hängebirke (*Betula pendula*) und andere einheimische Birken – Dendrologische Anmerkungen. – LWF-Bericht Nr. 28.

http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-wissen/28-sandbirke/w28-02-haengebirke-betula-pendula-dendrologische-anmerkungen.pdf [24.02.2014]

BOMBLE, F. W. 2011: Kritische und wenig bekannte Gefäßpflanzenarten im Aachener Raum. – Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 3: 103-114.

BOTANICAL SOCIETY OF BRITAIN AND IRELAND 2014: herbaria@home – http://www.bsbi.org.uk [27.01.2014]

BRAUN-BLANQUET, J. 1964: Pflanzensoziologie. – Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl., 865 S. – Springer; Wien, New York.

BROWN, I. R. & AL-DAWOODY, D. 1979: Observations on Meiosis in three cytotypes of *Betula alba* L. – New Phytol. 83: 801-811.

BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2014:Floraweb: Daten und Informationen zu Wildpflanzen und zur Vegetation Deutschlands. – http://www.floraweb.de/ [27.01.2014]

DETTMAR, J. 1992: Industrietypische Flora und Vegetation im Ruhrgebiet. – Diss. Bot. 191: 397 S.

DÜLL, R. & KUTZELNIGG, H. 2005: Taschenlexikon der Pflanzen Deutschlands: Ein botanisch-ökologischer Exkursionsbegleiter zu den wichtigsten Arten. – Quelle & Meyer, Wiebelsheim.

FRANZ, W. R. 2000: *Betula pubescens* subsp. *czerepanovii* (ORLOVA) HÄMET-AHTI (= *B. tortuosa* auct.) in Kärnten. – Linzer biol. Beitr. 32/2: 628-630.

Fuchs, R. 2013: Dynamik der Erlenbruchwälder, Moorbirken-Moorwälder und Gagelgebüsche im Übergang Niederrhein-Ruhrgebiet. Eine vegetationsökologische Analyse unter besonderer Berücksichtigung der Moose. – Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde 76, Münster

GAUSMANN, P. 2006: Ökologische und vegetationskundliche Untersuchungen an urbanindustriellen Vorwäldern im Ruhrgebiet. – Diplomarbeit Ruhr-Univ. Bochum. Bochum, 109 S. + Anhang (unveröff.)

GAUSMANN, P. 2013: Ökologie, Floristik, Phytosoziologie und Altersstruktur von Industriewäldern des Ruhrgebietes. – Diss. Ruhr-Univ. Bochum. Bochum, 370 S. + Anhang – http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/GausmannPeter/diss.pdf [24.02.2014]

GAUSMANN, P. & JAGEL, A. 2007: Ein Moorbirkenbruch im Ruhrgebiet – Flora und Vegetation der Brandheide (Kreis Recklinghausen, NRW). – Natur & Heimat 67(2): 47-54.

GAUSMANN, P., WEISS, J., KEIL, P. & LOOS, G. H. 2007: Wildnis kehrt zurück in den Ballungsraum – Die neuen Wälder des Ruhrgebietes. – PdN-BioS 2/56: 27-32.

GAUSMANN, P., HAEUPLER, H. & LOOS, G. H. 2010: Landschaftsbilder der Vergangenheit: Urwälder und Altwälder in Westfalen. − In: HEINEBERG, H., WIENEKE, M. &WITTKAMPF, P. (Hrsg.): Westfalen Regional Bd. 2. − Siedlung u. Landschaft i. Westfalen 37: 42-43.

HAEUPLER, H., JAGEL, A. & SCHUMACHER, W. 2003: Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen in Nordrhein-Westfalen. − Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW (Hrsg). Recklinghausen.

HAEUPLER, H. & MUER, T. 2007: Bildatlas der Farn und Blütenpflanzen Deutschlands. 2. Aufl. − Ulmer Verlag, Stuttgart.

HIBSCH-JETTER, C. 1994: Birken in den Alpen. Taxonomisch-ökologische Untersuchungen an *Betula pubescens* EHRH. und *Betula pendula* ROTH. Contributiones biologiae arborum Nr. 6. – ecomed, Landsberg am Lech.

KEIL, P. & LOOS, G. H. 2002: Ergasiophygophytic trees and shrubs in the Ruhrgebiet (West Germany). – UFZ-Bericht (Halle) 14/2002: 36.

KEIL, P., KOWALLIK, C., KRICKE, R., SCHLÜPMANN, M. & LOOS, G. H. 2007: Species diversity on urban-industrial brownfields with urban forest sectors compared with semi-natural habitats in western Ruhrgebiet (Germany) – First results of investigations in flowering plants and various animal groups. – Kurzfassung eines Vortrages im Rahmen der Tagung "New forests after old Industries – European Forum on Urban Forestry." Gelsenkirchen, 16.-19.05.2007 – http://www.wald-und-holz.nrw.de/55Wald_und_Mensch/Industriewald/5EFUF_2007/ablage/peter-keil.pdf [27.01.2014]

KLOTZ, S., KÜHN, I. & DURKA, W. 2002: BiolFlor – eine Datenbank mit biologisch-ökologischen Merkmalen zur Flora von Deutschland. − Schriftenr. f. Vegetationskde. 38: 1-333.

KRÜSSMANN, G. 1976: Handbuch der Laubgehölze Bd. 1. 2. Aufl. − Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.

MANSFELDT, T., GEHRT, S. B. & FRIEDL, J. 1998: Cyanides in a soil of a former coking plant site. − Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 161: 229-234.

NATHO, G. 1959: Variationsbreite und Bastardbildung bei mitteleuropäischen Birkensippen. − Feddes Rep. 61(3): 211-273.

NATHO, G. 1993: Entwicklungsmechanismen in der Gattung *Betula* L. (Birke). – Gleditschia 21: 167-180.

OBERDORFER, E. 1983: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. 5. Aufl. – Ulmer Verlag, Stuttgart.

SCHMIDT, P. 2002: Die Baum- und Straucharten Sachsens – Charakterisierung und Verbreitung als Grundlagen der Generhaltung. – Schriftenr. Sächs. Landesanstalt f. Forsten (LAF) 24: 103 S.

SCHOLZ, E. 1972: Zur introgressiven Hybridisierung von *Betula pendula* ROTH. und *Betula pubescens* EHRH. – Beitr. Forstwirtschaft 2: 11-15.

SEBALD, O., SEYBOLD, S. & PHILIPPI, G. (Hrsg.) 1993: Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Bd. 1: Allgemeiner Teil – Spezieller Teil (Pteridophyta, Spermatophyta); Lycopodiaceae bis Plumbaginaceae. 2. Aufl. − Ulmer Verlag, Stuttgart.

STEBBINS, G. L. 1969: The significance of hybridization for plant taxonomy and evolution. – Taxon 18: 26-35.

THÓRSSON, TH. Æ., PÁLSSON, S., SIGURGEIRSSON, A. & ANAMTHAWAT-JÓNSSON, K. 2007: Morphological Variation among *Betula nana* (diploid), *B. pubescens* (tetraploid) and their Triploid Hybrids in Iceland. − Annals of Botany 99: 1183-1193.

TUTIN, T. G., BURGES, N. A., CHATER, A. O., EDMONDSON, J. R., HEYWOOD, V. H., MOORE, D. M., VALENTINE, D. H., WALTERS, S. M. & WEBB, D. A. (eds.) 1993: Flora Europaea, Vol. 1: *Psilotaceae to Platanaceae*. − Cambridge University Press, Cambridge.

WISSKIRCHEN, R. & HAEUPLER, H. 1998: Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. − Ulmer Verlag, Stuttgart.

ZANDER, R. (Begr.) 2000: Handwörterbuch der Pflanzennamen. 16. Aufl. – Ulmer Verlag, Stuttgart.

Anschriften der Verfasser

Dr. Peter Gausmann
Umwelt- und Grünflächenamt
- Untere Landschaftsbehörde -
Hans-Böckler-Str. 19
44787 Bochum
E-Mail: pgausmann@bochum.de

Dr. Götz Heinrich Loos
Ruhr-Universität Bochum
Geographisches Institut
Universitätsstr. 150
44780 Bochum
E-Mail:
goetz.h.loos@googlemail.com

Tab. 1: Übersicht über Häufigkeiten und Herkunft der in den untersuchten Vorwäldern durch Vegetationsaufnahmen (n = 316) nachgewiesenen Makrophanerophyten (n = 60) (nach GAUSMANN 2013). Overview of abundance and frequency of trees in the studied pre-forest stands by relevés (n = 316) and number and origin of observed megaphanerophytes (n = 60)

Rang	Taxon	Abs. Häufig.	Obst-baum	Zierpflanze (Hecken-, Garten- und Straßenbaum)	Forstliche Nutzung	Autochthon im Ruhrgebiet
1	*Betula pendula*	315		X		X
2	*Quercus robur*	267		X	X	X
3	*Salix caprea*	266		X		X
4	*Crataegus monogyna* agg.	252		X		X
5	*Fraxinus excelsior*	223		X	X	X
6	*Sorbus aucuparia*	217		X		X
7	*Acer pseudoplatanus*	208		X	X	
8	*Acer campestre*	180		X		X
9	*Betula ×aurata*	173				X
10	*Prunus avium*	134	X	X	X	X
11	*Acer platanoides*	128		X	X	
12	*Prunus serotina*	125		X	X	
13	*Carpinus betulus*	112		X	X	X
14	*Populus tremula*	102		X		X
15	*Quercus rubra*	92		X	X	
16	*Prunus padus*	75		X		X
17	*Acer pseudoplatanus* cv. purpureum	44		X		X
18	*Salix ×reichardtii*	41				X
	Sorbus intermedia	41		X		
19	*Salix alba*	40		X		X
20	*Robinia pseudoacacia*	37		X	X	
21	*Ilex aquifolium*	35		X		X
	Populus nigra cv. *italica*-Hybride	35				X
22	*Fagus sylvatica*	29		X	X	X
23	*Tilia cordata*	28		X	X	
24	*Alnus glutinosa*	24		X	X	X
25	*Populus maximowiczii*-Hybride	23				X
26	*Taxus baccata*	21		X	X	
27	*Juglans regia*	20	X	X	X	
28	*Alnus incana*	18		X	X	
29	*Aesculus hippocastanum*	17		X		
30	*Malus domestica*	15	X	X		
31	*Quercus cerris*	12		X	X	
32	*Populus alba*	11		X		
	Quercus petraea	11		X	X	?
	Tilia ×europaea	11		X		
33	*Prunus mahaleb*	10		X		
	Salix ×capreola	10				X
34	*Pinus sylvestris*	6		X	X	
35	*Salix ×smithiana*	5		X		X
	Tilia platyphyllos	5		X	X	
	Ulmus glabra	5		X	X	?
36	*Quercus ×rosacea*	4				

Rang	Taxon	Abs. Häufig.	Obst-baum	Zierpflanze (Hecken-, Garten- und Straßenbaum)	Forstliche Nutzung	Autochthon im Ruhrgebiet
37	*Acer ginnala*	3		X		
	Ailanthus altissima	3		X		
	Alnus cordata	3		X		
38	*Crataegus laevigata*	2		X		X
	Fraxinus excelsior cv. Monophylla	2		X		X
	Pyrus communis	2	X			
	Sorbus aria	2		X		
39	*Acer platanoides* cv. Crimson King	1		X		
	Acer saccharinum	1		X		
	Castanea sativa	1	X	X	X	
	Corylus colurna	1	X	X		
	Laburnum vulgare cv. *anagyroides*	1		X		
	Picea abies	1		X	X	
	Populus balsamifera agg.	1		X	X	
	Salix fragilis	1				X
	Salix ×rubens	1				X
	Ulmus ×hollandica	1		X		

Tab. 2: Cytologische, morphologische und ökologische Merkmale von im Ruhrgebiet und in Nordrhein-Westfalen vorkommenden Birkensippen [Ploidie nach KLOTZ & al. (2002) sowie BROWN & AL-DAWOODY (1979), Morphologische Merkmale nach HAEUPLER & MUER (2007), BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2014) sowie KRÜSSMANN (1976); Standortsökologie nach OBERDORFER (1983) sowie DÜLL & KUTZELNIGG (2005)]. Cytological, morphological and ecological characteristics of birch taxa with distribution in the Ruhr Area and in North Rhine-Westphalia

	Betula pendula	***Betula pubescens***	***Betula carpatica* agg.**	***Betula ×aurata* im Ruhrgebiet**
Ploidiestufe	diploid	tetraploid	???	überwiegend triploid
Fertilität	fertil	fertil	meist fertil, selten auch steril	häufig fertil
Max. Wuchshöhe (in m)	26(-30)	30	1-3(8)	10-15
Wuchsform / Habitus	fast immer baumförmig	fast immer baumförmig	oft strauchförmig und mit knorrigem Stamm	meist baumförmig, nur selten auch strauchförmig
Farbe der Rinde und Dauer der Färbung	bis ins Alter schneeweiß, später sich in schwarz	lange weiß bleibend oder bräunlich, später sich in schwarz	selten weißlich oder gelb bis rötlich, meist braun	selten weiß, zumeist hell-braun, rötlich, bernsteinfarben

	Betula pendula	*Betula pubescens*	*Betula carpatica agg.*	***Betula ×aurata* im Ruhrgebiet**
	umwandelnd	umwandelnd		oder dunkel-braun bis fast schwarz, auch bereits in jungem Alter
Dauer der Zweigbehaarung	junge Zweige behaart, alte Zweige kahl (aber Wasserreiser kurz zottig!)	junge Zweige dicht flaumig behaart, ältere Zweige verkahlend	junge Zweige bald verkahlend	nur junge Zweige anfangs mehr oder weniger behaart, danach schnell verkahlend
Zweigdrüsen	junge Zweige mit warzigen Harzdrüsen, alte Zweige kahl	ohne Drüsen	junge Zweige mit vereinzelten Warzen, jedoch rasch verkahlend	± dicht drüsenwarzig
Blattform	Blatt rautenförmig, dreieckig; gestutzter Blattgrund	Blatt unterhalb der Mitte am breitesten; eiförmig; abgerundeter bis herzförmiger Grund	Blatt in der Mitte am breitesten; rautenförmig bis rhombisch eiförmig; keil-förmiger bis abgerundeter Grund	Blatt rhombisch, trapezförmig, oval bis eiförmig, rundlich oder herzförmig; keil-förmiger bis abgerundeter Grund
Blattgröße	4-7 cm lang, 2,5-4 cm breit	3-8 cm lang, 2-6 cm breit	2,5-5 cm lang, 2-6 cm breit	4-5 cm lang
Blattrand	scharf doppelt gesägt	grob einfach gesägt	meist einfach gesägt	zumeist einfach gesägt und fein gezähnt, nur selten schwach doppelt gesägt
Blattbehaarung	Blätter verkahlend	Blätter beidseitig flaumig behaart, später bis auf die Nerven u. Aderwinkel verkahlend	Blätter bald bis auf Nervenwinkel völlig verkahlend	Blätter kahl oder in den Ader-winkeln etwas behaart.
Fruchtflügel	weitgehend zurückgeschlagen	weitgehend nach vorne gekrümmt	nach vorne gerichtete Flügel	weitgehend zurückgeschlagen
Standortsökologie	feuchte bis trockene, mäßig nährstoffarme, meist saure Böden, häufig auf sandigen Böden	überwiegend auf feuchten Standorten (Weidensümpfe, Bruchwälder, Moorstandorte), selten auch trockene Standorte (Blockschutt)	überwiegend feuchte und nasse Standorte mit zumeist stark sauren, stickstoff-armen Boden-verhältnissen (Moorwälder) oder trockene Standorte (Pioniergehölz auf Blockschutthalden)	trockene oder stark verdichtete anthropomorphe Böden aus technogenen Substraten (Bergematerial, Schlacken, Eisenhüttenbims, Kokereigrus)

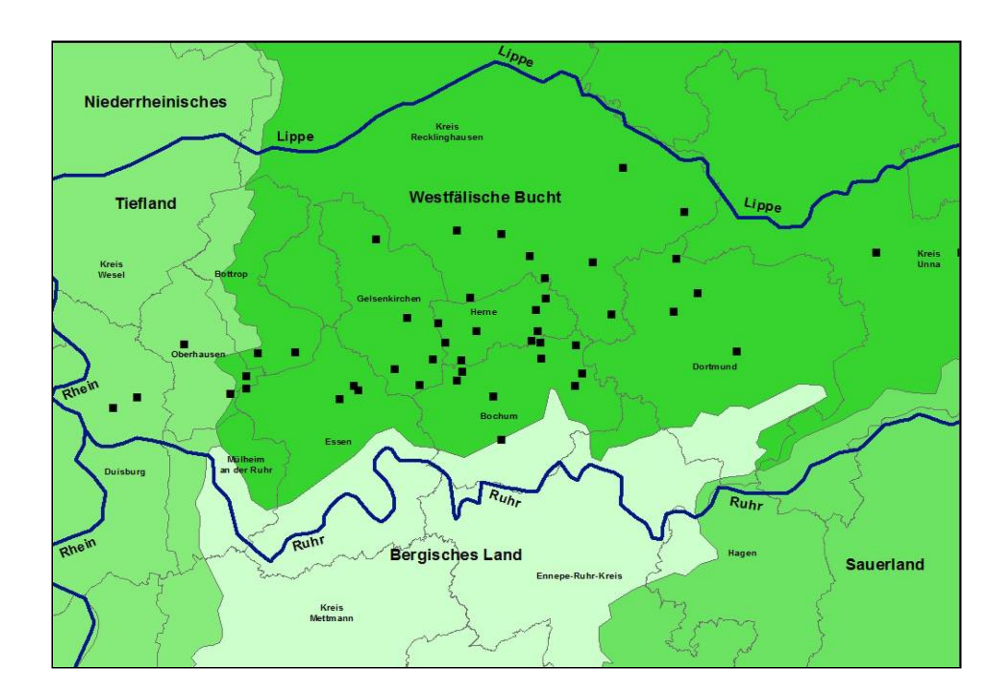


Abb. 1: Lage der untersuchten Industriebrachflächen (n = 48) im Ruhrgebiet mit Darstellung der naturräumlichen Haupteinheiten sowie kommunalen Grenzen. Location of the investigated brownfield sites (n = 48) in the Ruhr Area with the illustration of the landscape divisions and municipal borders

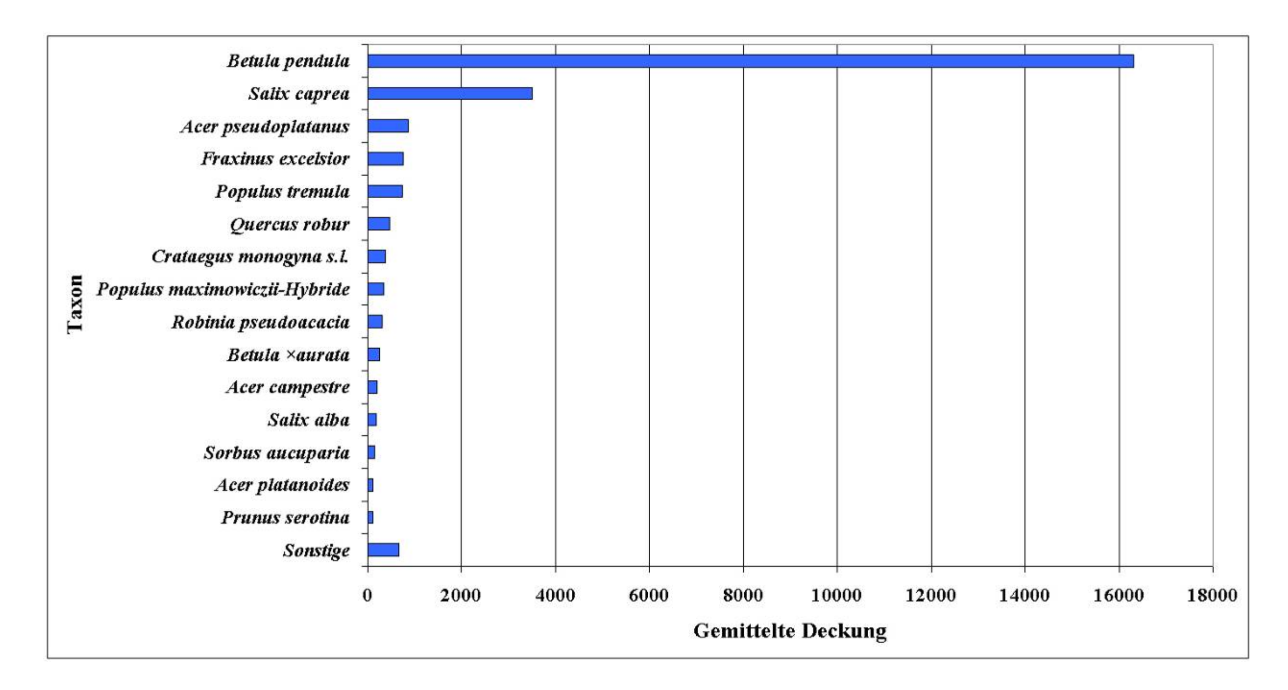


Abb. 2: Deckungsverhältnis der 15 am meisten bestandsbildenden Bäume in den untersuchten urban-industriellen Vorwäldern. Degree of coverage of the 15 most frequent and dominant trees of the investigated urban-industrial pre-forest stands



Abb. 3: Trapezförmige Blattform von *Betula ×aurata* auf dem Gelände der ehemaligen Zeche "Blumenthal XI" in Herne; P. Gausmann, 17.07.2009. Trapezoid leaf shape of *Betula ×aurata* on the site of former coal mine "Blumenthal XI" in Herne; P. Gausmann, 17.07.2009



Abb. 4: Eiförmige Blattform von *Betula ×aurata* auf dem Gelände der ehemaligen Zeche "Lothringen I/II" in Bochum; P. Gausmann, 17.07.2009. Oval leaf shape of von *Betula ×aurata* on the site of the former coal mine "Lothringen I/II" in Bochum; P. Gausmann, 17.07.2009



Abb. 5: Blätter desselben Zweiges eines Exemplars von *Betula ×aurata* von der Untersuchungsfläche der ehemaligen Zeche "Zollverein" in Essen. Leafs of the same branch of one specimen of *Betula ×aurata* from the study area of the former coal mine "Zollverein" in Essen

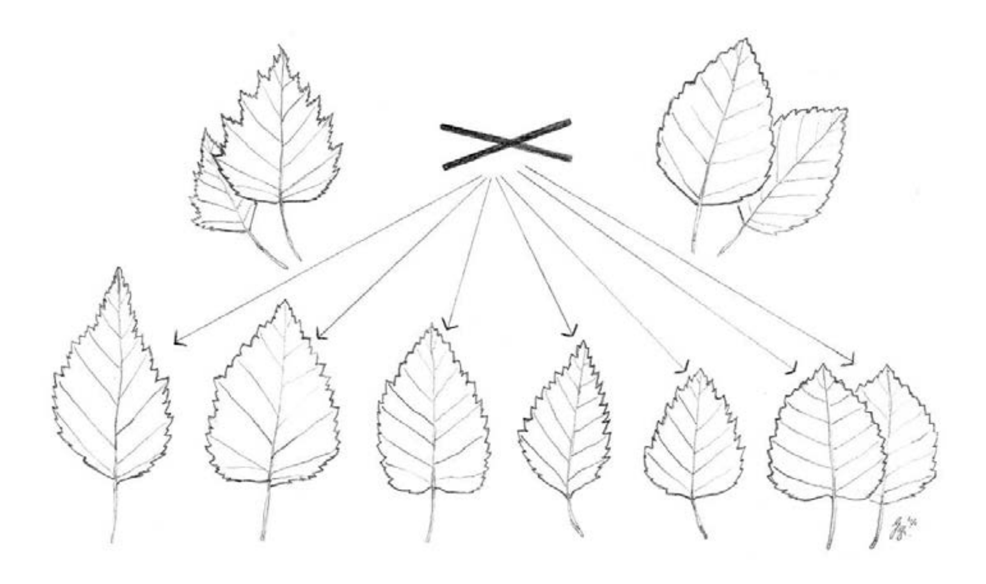


Abb. 6: Hybridisierungsschema zwischen *Betula pendula* (links oben) und *B. pubescens* s. str. (rechts oben) und intermediäre Kreuzungsprodukte der Blattform (GAUSMANN & al. 2007). Hybridization pattern between *Betula pendula* (upper left) and *Betula pubescens* s. str. (upper right) and intermediate hybrid products of leaf forms (GAUSMANN & al. 2007)



Abb. 7: Nahezu weißer Stamm von *Betula ×aurata* auf der Industriebrachfläche Zeche "Graf Schwerin" in C.-Rauxel; P. Gausmann, 15.06.2010. Nearly white coloured trunk of *Betula ×aurata* on the site of former coal mine "Graf Schwerin" in C.-Rauxel; P. Gausmann, 15.06.2010



Abb. 8: Bernsteinfarbener Stamm von *Betula ×aurata* auf der Industriebrachfläche Zeche "Rheinelbe" in Gelsenkirchen; P. Gausmann, 23.04.2009. Amber coloured trunk of *Betula ×aurata* on the site of former coal mine "Rheinelbe" in Gelsenkirchen; P. Gausmann, 23.04.2009



Abb. 9: Rotbrauner Stamm von *Betula ×aurata* auf der Industriebrachfläche Zeche "Pluto V" in Herne; P. Gausmann, 01.06.2008. Red-brown coloured trunk of *Betula ×aurata* on the site of former coal mine "Pluto V" in Herne; P. Gausmann, 01.06.2008



Abb. 10: Nahezu schwarzer Stamm von *Betula ×aurata* auf der Industriebrachfläche Zeche "Mont-Cenis" in Herne; P. Gausmann, 28.08.2004. Nearly black coloured trunk of *Betula ×aurata* on the the site of former coal mine "Mont-Cenis" in Herne; P. Gausmann, 28.08.2004



Abb. 11: Dunkelfarbiger Stamm von *Betula carpatica* im Naturschutzgebiet "Hamorsbruch" im Mittelgebirge des Süderberglandes, Nordrhein-Westfalen; P. Gausmann, 26.06.2009. Dark coloured trunk of *Betula carpatica* in the natural reserve "Hamorsbruch" of the low mountain range of the Süderbergland, North Rhine-Westphalia; P. Gausmann, 26.06.2009

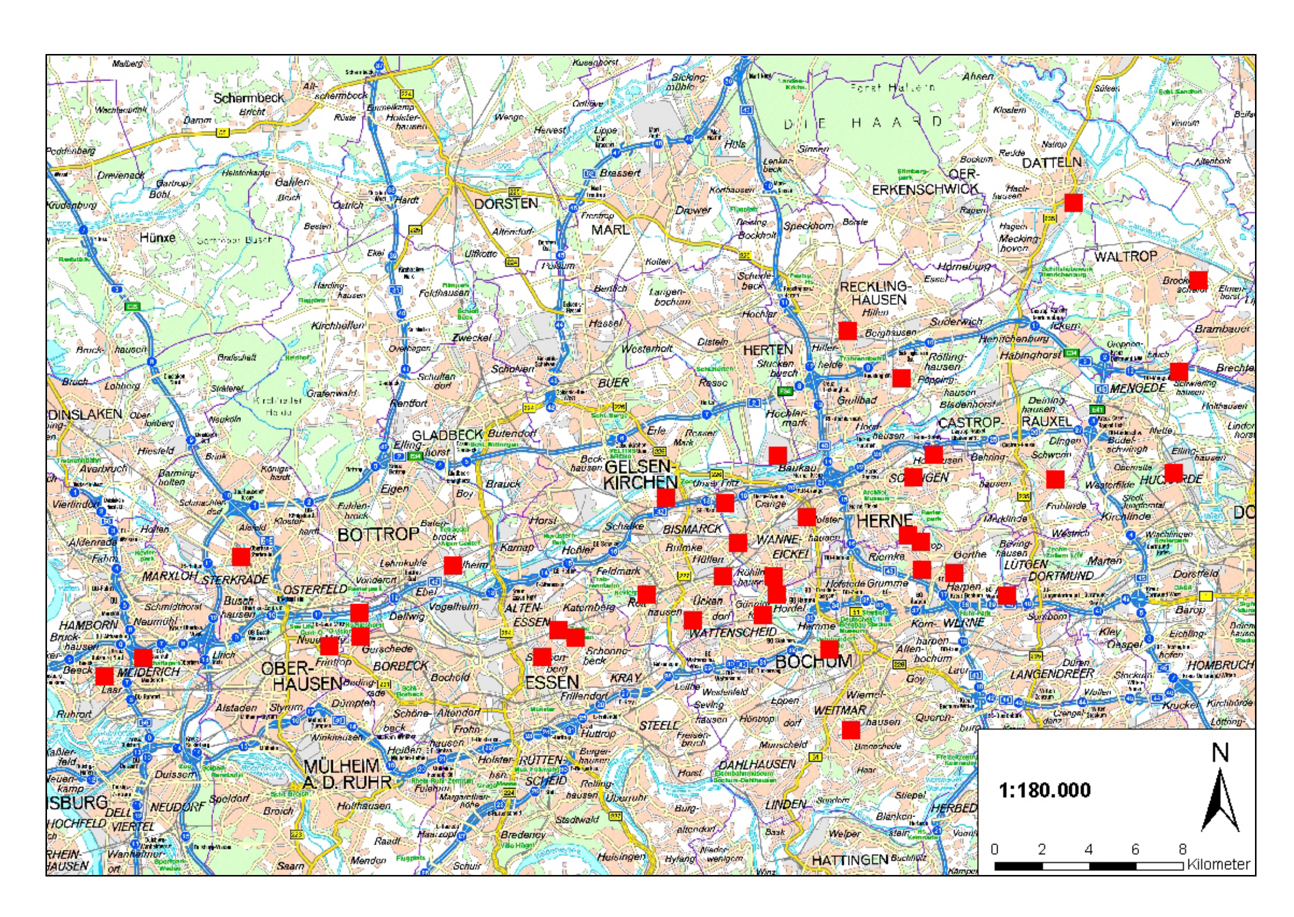


Abb. 12: Nachweise und Verbreitung von *Betula ×aurata* im Ruhrgebiet (vorläufige Fassung). Evidences and distribution auf *Betula ×aurata* in the Ruhr Area (preliminary version)